

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-350666

(43)Date of publication of application : 04.12.2002

(51)Int.Cl.

G02B 6/18

G02B 6/10

G02B 6/32

G02B 26/08

(21)Application number : 2002-142246 (71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 17.05.2002 (72)Inventor : REED WILLIAM ALFRED
SCHNITZER MARK J

(30)Priority

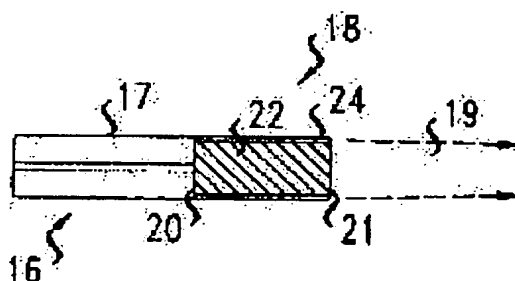
Priority number : 2001 292017 Priority date : 19.05.2001 Priority country : US
2001 896777 29.06.2001 US

(54) GRIN FIBER LENS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a GRIN fiber lens by which the Rayleigh range of an emitted beam is increased.

SOLUTION: This GRIN fiber lens is equipped with a silica glass core whose refractive index has a profile in a radial direction. In the profile, average strength in the core has a second derivative in the radial direction smaller than about 1.7×10^{-6} micron⁻² times of the value of the refractive index of a GRIN fiber lens shaft.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

01.12.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-350666
(P2002-350666A)

(43) 公開日 平成14年12月4日 (2002. 12. 4)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 B 6/18		G 0 2 B 6/18	2 H 0 3 7
6/10		6/10	D 2 H 0 4 1
6/32		6/32	2 H 0 5 0
26/08		26/08	A
			E
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)			

(21) 出願番号 特願2002-142246(P2002-142246)

(22) 出願日 平成14年5月17日 (2002. 5. 17)

(31) 優先権主張番号 60/292017

(32) 優先日 平成13年5月19日 (2001. 5. 19)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/896777

(32) 優先日 平成13年6月29日 (2001. 6. 29)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596092698

ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レーテッド

アメリカ合衆国. 07974-0636 ニュージ
ャーシー, マレイ ヒル, マウンテン ア
ヴェニュー 600

(72) 発明者 ウィリアム アルフレッド リード

アメリカ合衆国 07901 ニュージャーク
ィ, サミット, ブラックバーン ロード
143

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外10名)

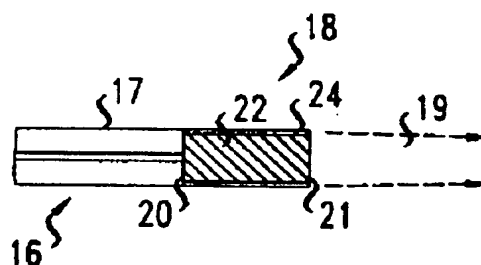
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 GRINファイバ・レンズ

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、放出されるビームのレイリー範囲を増大するGRINファイバ・レンズを提供すること。

【解決手段】 GRINファイバ・レンズは、その屈折率が径方向プロファイルを有するシリカ・ガラス・コアを備える。プロファイルは、コアにおける平均強度が、GRINファイバ・レンズ軸の屈折率の値の約 1.7×10^{-6} ミクロン⁻² 倍より小さい径方向二次導関数を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 シリカ・ガラス・コアを有する GRIN ファイバ・レンズを備える装置であって、前記シリカ・ガラス・コアの屈折率が、径方向プロファイルを有し、前記プロファイルは、前記コアにおける平均強度が、GRIN ファイバ・レンズ軸の屈折率の値の約 1.7×10^{-6} ミクロン⁻² 倍より小さい装置。

【請求項 2】 前記レンズが、シリカ・ガラス・クラッドを有していない請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】 GRIN ではないコア、およびクラッドを有する光ファイバをさらに備え、前記ファイバ・レンズが、前記光ファイバの 1 つの端部に取り付けられている請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】 第 1 の光ファイバと、前記第 1 の光ファイバに取り付けられた第 1 の GRIN ファイバ・レンズと、第 2 の光ファイバと、前記第 2 の光ファイバに取り付けられた第 2 の GRIN ファイバ・レンズと、

前記第 1 の GRIN ファイバ・レンズの自由端部から放出された光ビーム部分を、前記第 2 の GRIN ファイバ・レンズに向けることができる光学デバイスとを備える装置であって、前記 GRIN ファイバ・レンズが、シリカ・ガラス・コア、および径方向プロファイルを有する屈折率を有し、前記プロファイルが、それぞれ GRIN ファイバ・レンズ軸の屈折率の約 1.7×10^{-6} ミクロン⁻² 倍より小さいコアにおける平均強度を有する径方向の二次導関数を有する装置。

【請求項 5】 前記光学デバイスに物理的に結合されたマイクロ電子機械コントローラをさらに備える請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】 第 3 の光ファイバと、前記第 3 の光ファイバに取り付けられた第 3 の GRIN ファイバ・レンズとをさらに備え、前記光学デバイスが、前記第 1 の GRIN ファイバ・レンズの自由端部から放出される光ビームの部分を、前記第 3 の GRIN ファイバ・レンズへ向けることができる請求項 4 に記載の装置。

【請求項 7】 GRIN ファイバを製造するための方法であって、径方向分布プロファイルを有するドーパント濃度を有する環状コアと、前記環状コアに隣接して前記環状コアの外側の同心環状クラッドとを有するシリカ・ガラスのチューブを形成するステップと、熱を加えることによってチューブを部分的に壊し、前記部分的に壊されたチューブが中央チャネルを有するステップと、シリカ・ガラスの中間層を取り除くために、前記中央チャネルを通してガラス・エCHANT を通過させるステッ

ブと、

その後、前記エッチングされたチューブをロッド状のプリフォームに壊すステップと、前記プリフォームから GRIN ファイバを線引きするステップとを含む方法。

【請求項 8】 前記線引きステップが、GRIN ファイバを作り、前記 GRIN ファイバのコアが、径方向二次導関数を有するプロファイル屈折率を有し、前記径方向二次導関数の平均強度が、前記 GRIN ファイバ・レンズの軸の屈折率値の約 1.7×10^{-6} ミクロン⁻² 倍より小さい請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】 前記形成するステップが、さらに、環状クラッシングの内側表面にコアの部分を堆積するステップを含み、前記堆積するステップが、ドーパント堆積のために前駆体、および環状クラッドの内側のシリカ・ガラス堆積のための前駆体の混合物を導入するステップを含み、前記堆積するステップが、前記混合物におけるドーパントの前駆体の割合が時間で変化することを含み、前記形成するステップが、さらに、前記環状クラッド・チューブの少なくとも 1 つの外層を前記プリフォームから取り除くステップを含む請求項 7 に記載の方法。

【請求項 10】 前記 GRIN ファイバの部分を他の光ファイバに溶着するステップをさらに含む請求項 7 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】本願は、2001 年 2 月 17 日に出願された米国仮特許出願第 60/269586 号、および 2001 年 5 月 19 日に出願された米国仮特許出願第 60/292017 号の恩恵を請求する。

【0002】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学デバイスおよび屈折率分布型レンズに関する。

【0003】

【従来の技術】屈折率分布 (GRIN, Graded Refractive Index) 型レンズは、レンズの軸からの径方向距離で変化する値の屈折率の値を有する。屈折率におけるかなりの変化は、光を屈折させ、通常のレンズの集束能力と同様の集束能力を GRIN レンズに与える。したがって、多くの光学デバイスは、交換可能に GRIN レンズまたは通常のレンズを用いる。

【0004】多くの光学デバイスは、光ビームを集束し、コリメートし、または拡大するためにレンズを使用する。図 1 は、GRIN ファイバ・レンズ 11 が、光学ファイバ 13 の終端 12 に集束されるファイバ・デバイス 10 を示す。GRIN ファイバ・レンズ 11 は、光ファイバ 13 によって放出される光ビームを拡大およびコリメートする。GRIN ファイバ・レンズ 11 は、回折により、そうでなければ光ファイバ 13 とファイバ・デバイス 15 との間に存在する光学結合と比べて、光ファイバ 13 とファイバ・デバイス 15 との間の光学結合を

改善する。GRINファイバ・レンズ11は、光ファイバ13が、他の光ファイバに光学的に結合されたときに、回折損失を低減する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】光ビームの径は、GRINレンズの軸に沿って変化するため、ビーム径の変化から、レンズ長の尺度が得られる。ビーム径における変化が2つの完全な周期を作る長さは、レンズのピッチと呼ばれる。一般に、GRINレンズの長さは、ピッチ長さの倍数、例えば1/2ピッチまたは1/4ピッチで表される。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の原理を用いるいくつかの光学デバイスは、屈折率が新規な径方向プロファイルを有するGRINファイバ・レンズを含む。光学ファイバの端部に取り付けられたとき、新規なGRINファイバ・レンズは、従来のGRINレンズに取り付けられた同様のファイバによって放出される光ビームのレイリー(Rayleigh)範囲を超えて、放出されたビームのレイリー範囲を増大する。増大されたレイリー範囲は、ビーム・コリメーションを改善し、ファイバは、より大きな距離範囲にわたって他の光学デバイスに結合することができる。

【0007】様々な実施形態において、GRINファイバ・レンズは、屈折率が径方向に分布するプロファイルを含む。GRINファイバ・レンズの軸上で、プロファイルが、径方向の二次導関数を有し、この二次導関数の大きさが、GRINファイバ・レンズの軸上の屈折率の値の約 1.7×10^{-6} ミクロン⁻² 倍よりも小さい。以降、ミクロンは、 μm と記載される。図において、同様の参照符号は、機能的に同様の特徴を参照する。

【0008】

【発明の実施の形態】1. Grinファイバ・レンズ 図2は、光ファイバ17が、GRINファイバ・レンズ18に端部結合された、例えばファイバ17に溶着された、または接着された、光ファイバ・デバイス16を示す。GRINファイバ・レンズ18および光ファイバ17は、同軸であり、約 $100\mu\text{m}$ から約 $135\mu\text{m}$ の範囲、例えば $125\mu\text{m}$ の値である、同様なまたは等しい外径を有する。GRINファイバ・レンズ18は、光ファイバ17の端部から放出される光ビーム19をコリメートし、それによって未処理の光ファイバの開口数より小さく、開口数を低減する。GRINファイバ・レンズ18は、光ファイバ17の端部20内に、入射光ビームを集束することもできる。

【0009】例示的な光ファイバ17は、シングル・モードおよびマルチ・モード・ファイバを含む。

【0010】例示的なGRINファイバ・レンズ18は、径方向のプロファイルが、従来のGRINファイバ・

・レンズの径方向プロファイルとはかなり異なる屈折率を有する。新規な径方向プロファイルは、図1の従来のファイバ・デバイス10における同じ量の値と比べて、開口数を低減し、ファイバ・デバイス16に関するレイリー範囲を増加することができる。低減された開口数は、適切な長さのGRINファイバ・レンズ18が、従来のファイバ・デバイス10によって放出される光ビーム14におけるよりも、放出される光ビーム19においてより小さい回折およびより低いパワー密度を生じることとを意味する。増大されたレイリー範囲は、放出されたビーム19が、ビーム14より良くコリメートされることを意味する。放出されたビーム19の改善された特性は、他のファイバ・デバイス(図示せず)に対する、端部結合されたファイバ・デバイス16に必要な横断方向位置合わせを容易にする。

【0011】ファイバ・デバイス16のある実施形態において、GRINファイバ・レンズ18は、光ファイバ17への光の戻り反射を低減するためにへき開された角度である端面21を有する。特に、好ましくは、端面21に対する垂直ベクトルは、GRINファイバ・レンズ18の軸に対して、 $1^\circ \sim 2^\circ$ 以下でへき開される。このへき開角度は、その端面から光ファイバ(図示せず)に戻る反射をより小さくするために使用される、約 8° の一般的なへき開角度より小さい。GRINファイバ・レンズ18によって提供されるビーム拡大は、ファイバ17へ戻る反射を同様に低減するために必要なへき開角度量を少なくする。

【0012】新規なGRINファイバ・レンズ18は、円形のコア22と、コア22を囲む環状のクラッド24とを有する。コア22において、屈折率は、GRINファイバ・レンズ18の軸からの径方向距離で変化する。クラッド24において、屈折率は一定であり、コア22より低い値を有する。GRINファイバ・レンズは、約 $125\mu\text{m}$ の外径を有する。外径は、図1に示される従来のGRINファイバ・レンズ11の外径と同じである。しかし、新規なGRINファイバ・レンズ18と従来のGRINファイバ・レンズ11とは、それらのコアにおけるドーパント原子の密度分布の違いのために、異なる径方向屈折率プロファイルを有する。例示的なドーパントは、ゲルマニウム(Ge)、アルミニウム(Al)、リン(P)、およびフッ素(F)を含む。

【0013】図3Aは、それぞれ、従来のGRINファイバ・レンズ11におけるGeドーパント密度の径方向プロファイル26と、新規なGRINファイバ・レンズ18におけるGeドーパント密度の径方向プロファイル27とを示す。新規なGRINファイバ・レンズ18のコア22において、Geドーパント密度は、中央軸で最も大きく、下方に湾曲した凹状である径方向プロファイルを有する。プロファイルは、軸方向密度のくぼみを有さない、すなわちいくつかの従来のGRINファイバ・

レンズ（図示せず）とは異なる。Geドーパントの径方向プロファイルの湾曲は、従来のGRINファイバ・レンズ11のコアにおけるよりも、新規なGRINファイバ・レンズ18のコア22においてより小さい平均強度を有する。従来のGRINファイバ・レンズ11と新規なGRINファイバ・レンズ18との両方のクラッドにおいて、Geドーパント密度が、ファイバ・コアよりも低く、ファイバ軸からの径方向距離に関して一定である。

【0014】コアとクラッドとの間の境界、すなわち径方向距離R。およびR。'は、Geドーパント濃度および/または濃度の径方向勾配における、急激な変化を特徴とする。コア径は、従来のGRINファイバ・レンズ11におけるよりも、新規なGRINファイバ・レンズ18におけるほうがより大きい。すなわち、R。' > R。である。コア径を増大すると、適切な長さのGRINファイバ・レンズ18がファイバ・デバイスに使用されるとき、ファイバ・デバイス16のレイリー範囲が増大する。GRINファイバ・レンズ18の例示的な実施形態は、約125μmの外径と、コア22は、約85μm、好ましくは100μm以上、より好ましくは105μm以上の径を有する。あるGRINファイバ・レンズ18において、クラッドはなく、コアが約125μmの径を有している。

【0015】図3Bは、それぞれ、GRINファイバ・レンズ11のGeドーパント濃度プロファイル26に対応する屈折率プロファイル28、およびGRINファイバ・レンズ18のGeドーパント濃度プロファイル27に対応する屈折率プロファイル29を示す。径方向プロファイル28、29は、コア22内に下方に凹である。

【0016】径方向プロファイル28、29は、その径方向プロファイルが、従来のGRINファイバ・レンズ11におけるよりも、著しくよりなだらかな変化を有する屈折率を、新規なGRINファイバ・レンズ18が有することも示す。パラメータ「g」は、GRINファイバ・レンズのコアにおける屈折率プロファイルの径方向湾曲を評価する。実際に、パラメータgは、以下の式で定義される。

【0017】

$$g = \frac{1}{n_0} \frac{d^2 P(r)}{dr^2} \Big|_{r=0}$$

ここで、「r」は、GRINファイバ・レンズの軸に関する径方向距離であり、n₀は、GRINファイバ・レンズの軸上の屈折率の値であり、P(r)は、ファイバ・レンズの軸から「r」の距離での屈折率の値である。

【0018】GRINファイバ・レンズ18は、レンズのコアにわたるよりなだらかな径方向の変化を有する屈折率プロファイルを有する。一般に、GRINファイバ・レンズ18の屈折率プロファイルは、参照によって本

明細書に完全に組み込まれる、W. L. Emkeyなどによる、Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 9 (1987年9月)、pp. 1156~1164の「Analysis and Evaluation of Graded-Index Fiber Lenses (屈折率分布ファイバ・レンズの解析および評価)」(EMKEY)の表1に開示されている大きさよりも小さい径方向湾曲を有する。一般に、GRINファイバ・レンズ18の実施形態に関する屈折率プロファイルの径方向湾曲の大きさは、少なくとも、EMKEYに開示された屈折率プロファイルの径方向湾曲の大きさの半分である。例示的なGRINファイバ・レンズ18は、 $1.7 \times 10^{-6} \mu m^{-2}$ より小さく、好ましくは約 $0.9 \times 10^{-6} \mu m^{-2}$ より小さく、より好ましくは約 $5.0 \times 10^{-7} \mu m^{-2}$ より小さい「g」を有する。125μmのGRINファイバ・レンズ18径に関して、「g」の値は、良好なビーム・コリメーションを提供するために、 $1.7 \times 10^{-6} \mu m^{-2}$ から $5.0 \times 10^{-7} \mu m^{-2}$ の範囲から、好ましくは、 $0.9 \times 10^{-6} \mu m^{-2}$ から $5.0 \times 10^{-7} \mu m^{-2}$ の範囲から選択される。

【0019】例示的なGRINファイバ・レンズ18は、レンズ軸から距離においてほぼ二次関数で変化するコア屈折率プロファイルを有する。しかし、GRINファイバ・レンズ18の他の実施形態は、二次関数ではない屈折率プロファイルを有する。

【0020】図2を再び参照すると、新規なGRINファイバ・レンズ18は、従来のGRINファイバ・レンズ11より広いコア22を有する。より広いコア22およびより小さい値のパラメータ「g」は、ビーム・コリメータとして使用されたとき、適切な長さの新規なGRINファイバ・レンズ18が、より広い断面積およびより低いエネルギー密度を有するビームを作り出すことを可能にする。

【0021】図4Aは、図1に示されるタイプの新規なファイバ・デバイス16'によって放出された光ビーム31を示し、図4Bは、図2に示されるタイプの従来のファイバ・デバイス10'によって放出された光ビーム32を示す。ファイバ・デバイス16'、10'は、等しいピッチ、例えば5/16ピッチであるが、異なる屈折率プロファイルを有する、GRINファイバ・レンズ18'、11'を有する。レンズ18'における新規なプロファイルは、従来の装置10'のレイリー範囲R'を超える、ファイバ・デバイス16'のレイリー範囲RR'をかなり増大する。増大されたレイリー範囲は、従来のGRINファイバ・レンズ11におけるビーム拡大と比べると、GRINファイバ・レンズ18'におけるよりなだらかなビーム拡大を結果として生じる。実際に、図4Aおよび図4Bは、従来のGRINファイバ・

10

20

30

40

50

レンズにおけるよりも小さい、GRINファイバ・レンズの屈折率プロファイルにおける径方向湾曲にすることが、所定のピッチで放出されたビームの発散をかなり低減することを示す。

【0022】レイリー範囲は、光学デバイスがほぼ損失なしにファイバ・デバイスに結合することができる距離範囲を決定する。新規なファイバ・デバイス16'におけるより大きなレイリー範囲は、従来のファイバ・デバイス10'に利用できるよりも大きな、そのような装置に端部結合するために利用できる一組の距離を作る。

【0023】等しいピッチのGRINレンズは、通常、レンズ長の $g^{1/2}$ 倍の等しい積を有する。新規なGRINファイバ・レンズ18はより小さい g 値を有するため、新規なGRINファイバ・レンズ18は、通常、等しいピッチの通常のGRINファイバ・レンズ11よりも長い。より長い長さは、新規なGRINファイバ・レンズ18を、通常のGRINファイバ・レンズ11よりも、取り扱い、位置合わせ、かつ光ファイバへの溶着をより容易にする。増大された長さは、同様に、新規なGRINファイバ・レンズ18の製造中に発生するへき開誤差に関連する、コリメーション誤差を低減する。

【0024】図5は、内付け化学気相成長 (Modified Chemical Vapor Deposition, MCVD) によってドーパされたシリカ・ガラスのGRINファイバ・レンズを製造する方法100に関するフローチャートである。光ファイバのMCVD構成は、参照により本明細書にその全体が組み込まれた、米国特許第4909816号および第4217027号に記載されている。製造方法100は、改善されたGRINプリフォームを形成し、その後、GRINファイバ・レンズ、例えば図2のGRINファイバ・レンズ18を作るために、改善されたGRINプリフォームを使用することを含む。

【0025】GRINプリフォームを形成するために、シリカ・ガラスの層は、MCVDによってシリカ・ガラス・クラッド・チューブの内側に堆積される (ステップ102)。MCVD中に、ドーパント・ガスの分圧の時間変化は、クラッド・チューブの内側にシリカ・ガラスを堆積するために使用されるガス混合物に放出される。例示的なドーパントは、Ge、Al、P、およびFを含む。シリカ・ガラス内の1つ以上のこれらのドーパントの導入は、ガラスの屈折率を変化させる。ドーパント・ガスの分圧は、最終シリカ・ガラス・プリフォーム内のドーパント原子の平凡ではない径方向プロファイルを作り出すために、MCVDプロセス中に変化される。

【0026】ドーパント原子における径方向プロファイルは、最終プリフォームにおける選択された径方向に分布された屈折率を作り出す。ドーパント密度および屈折率に関する例示的なプロファイルは、下方に凹状、または負の径方向湾曲を有するプロファイルを有する。しば

しば、屈折率プロファイルは、プリフォームのコアにおけるプリフォーム軸からの距離の平方、例えば、図3Aおよび図3Bのプロファイル27、29として変化する。他の径方向プロファイルは、MCVD中にドーパント原子の分圧の時間変化を適切に変更することによって得ることができる。GRINファイバにおける二次関数ではないプロファイルは、当業者に知られているようにGRINファイバ内の光ビームの再整形を可能にする。

【0027】方法100は、ロッド状のプリフォームを形成するために内側堆積によって作られたチューブを使用することを含む。ロッド状のプリフォームを形成するために、熱が、ドーパされたシリカ・ガラスのチューブを部分的に壊すために加えられる (ステップ104)。一実施形態において、熱を加えることは、炉の高温ゾーンを通してチューブを繰り返し通過させることを含む。熱を加えることは、チューブ内の軸方向チャンネルがガラスで完全に閉塞される前に停止される。

【0028】チューブを部分的に壊した後、シリカ・ガラス・エCHANT混合物が、チューブの軸からガラスのいくつかの層を取り除くために、軸方向チャンネルを通してされる (ステップ106)。例示的なガス状エCHANT混合物は、 C_2F_2 、 O_2 、および Cl_2 を含む。他のガス状エCHANT混合物はHFを含む。取り除かれた層は、シリカ・ガラスの隣接する外側層より低いドーパント濃度を有する。なぜなら、ドーパントは気化し、チューブを壊すために使用される加熱の間にチューブの軸方向チャンネルを通して失われるからである。より低いドーパント密度を有するこれらの層が取り除かれなければなら、最終プリフォームは、ドーパント密度における軸方向のくぼみ、および屈折率における対応する軸方向くぼみを有する。屈折率における軸方向のくぼみは、いくつかの従来のGRINファイバ・レンズの作動を妨げる。

【0029】いくつかのガラスの中央層のエッチング除去後、チューブは、ドーパされたシリカ・ガラスのロッド状プリフォームに対してその破壊を終了するために、外部から加熱される (ステップ108)。

【0030】プリフォームを冷却した後、エCHANTが、プリフォームの外側からクラッド・チューブの選択された厚みを取り除くために、外側表面に加えられる (ステップ110)。クラッド・チューブの部分を取り除くことは、クラッドが少ないまたはないガラス・ファイバのその後の線引きを可能にする。例えば、図3Aにおけるプロファイル27、および図3Bにおけるプロファイル29を参照されたい。これらのクラッドの薄いまたはクラッドのないファイバは、GRINファイバ・レンズには有利である。なぜなら、そのようなファイバは、光ビームが、最終のGRINファイバの断面積のより広い部分にわたって拡大することを可能にする。より広い断面積にわたるビームを拡大することは、関連する開口数を低減し、かつパワー密度を低減し、レンズの端

10

20

30

40

50

部表面上、または放出されたビームのターゲット上の欠陥は、構成部品損傷をより引き起こし難くする。

【0031】GRINファイバ・レンズの製造は、分布屈折率プリフォームからGRINファイバを線引きするために、標準のファイバ線引き炉を使用することを同様に含む（ステップ112）。冷却後、線引きされたGRINファイバの一端部は、標準のファイバ、すなわち非分布屈折率コアを有するファイバの一端部に溶着される（ステップ114）。GRINおよび標準ファイバを溶着するために、2つのファイバの端部は、アルゴン雰囲気における電気アークまたはタングステン・フィラメントを用いて加熱され、一方、端部は、互いに適切に位置合わせされ、かつ隣接して配置される。

【0032】最後に、GRINファイバは、所望の長さを有する光学レンズを作り出すためにへき開される（ステップ116）。最終的に取り付けられたGRINファイバ・レンズは、1/4、1/2、または任意の他の所望の長さを有し、ビーム・コリメータおよび拡大器として機能するファイバに溶着される。

【0033】最終のファイバ・デバイスの面からファイバに戻る反射を低減するために、へき開することは、GRINファイバの軸に垂直ではない方向に沿ってしばしば行われる。GRINではない光ファイバにおいて、ファイバの軸に対して垂直方向に対して8°の角度で、ファイバの端面をへき開することは、戻り反射を著しく低減する。GRINファイバ・レンズに関しては、このへき開角度は、取り付けられた光ファイバへの戻り反射の同様な低減を達成するために、レンズ軸に垂直な方向から8°より小さく低減されることができ、例えば、好ましいへき開角度は、約0.5~2°である。

【0034】方法100は、従来のGRINファイバ・レンズ、例えば図1のレンズ11より、低い単位長さ当たりの屈折パワーを有する、GRINファイバ・レンズ、例えば図2のレンズ18を作り出す。したがって、新規なGRINファイバ・レンズは、同様の光学パワーを有する従来のGRINファイバ・レンズより著しく長い。より長いレンズは、より良く光をコリメートし、かつ装置構成中に操作することがより容易である。低い径方向ドーパント傾斜を有する例示的なGRINファイバ・レンズは、約2、3、または4~20mmの完全なピッチ長さを有する。

【0035】図2のGRINファイバ・レンズ18は、当業者に知られている、気相軸方向堆積（Vapor Axial Deposition、VAD）、外方気相堆積（Outer Vapor Deposition、OVD）、およびゾルーゲル・プロセスで作ることもできる。そのようなプロセスは、最終のGRINファイバ・レンズの屈折率における軸方向くぼみを形成することを避けることを、同様に可能にする。

【0036】2. GRINファイバ・レンズを使用する

ファイバ・デバイス

様々な実施形態から、以下に記載する光ファイバ・デバイスが得られる。記載する様々な装置は、従来のGRINファイバ・レンズ、例えば図1のレンズ11、または新規なGRINファイバ・レンズ、例えば図2のレンズ18のいずれかを用いることができる。

【0037】図6Aは、異なる基本モードまたはより高い伝搬モードを有する、一対の光ファイバ36、38を結合するモード・コンバータ40を示す。いくつかの実施形態において、光ファイバ36、38は、異なる径のコアを有するか、またはコア・クラッド境界を横切る、異なるサイズの屈折率ジャンプを有する。モード・コンバータ40において、GRINファイバ・レンズ43は、光ファイバ36、38の端部に取り付けられる。例示的なモード・コンバータ40において、GRINファイバ・レンズ43は、光ファイバ36、38に直接溶着されるか、またはその厚みが、ファイバ36、38のコアの幅より大きくないグルー層（図示せず）によって、ファイバ36、38に結合される。

【0038】光ファイバ36、38は、異なるコア径、および/または屈折率ジャンプを有するので、ファイバ36、38は、異なるサイズを有する、伝搬モード、例えば基本モードを有する。ここで、伝搬モードのサイズは、最大強度値の半分のモードの完全な径として定義される。伝搬モードの異なるサイズのため、光ファイバ36、38を直接結合することは、光エネルギーの相当な結合損失、すなわちスプライス損失（splice loss）を作り出す。

【0039】スプライス損失を低減するために、GRINファイバ・レンズ43は、光ファイバ36、38間に配置され、光ファイバ38の伝搬モードの径に等しいより大きな径を有するために、光ファイバ36のより狭い伝搬モードを拡張するために選択される。適切なサイズ変換を作り出すために、GRINファイバ・レンズ43を設計することは、適切なレンズ長を選択することを伴う。当業者は、一方のファイバ36の伝搬モードサイズを、他方のファイバ38の伝搬モードサイズに変換するために必要な強度量に基づいて、GRINファイバ・レンズ43の長さをいかに選択するかを知っているであろう。

【0040】他の実施形態において、モード・コンバータ34は、光ファイバ以外の導波路を光ファイバ38に結合する。

【0041】図6Bは、図6Aのモード・コンバータ34の特定の実施形態34'を示す。モード・コンバータ34'において、GRINファイバ・レンズ43'は、一連のGRINファイバ・レンズ素子43A、43Bで作られた複合レンズである。第1の素子43Aは、光ファイバ36の端部に直接溶着され、最後の素子43Bは、光ファイバ38の端部に直接溶着される。例示的な

GRIN素子43Aおよび43Bは、共に溶着され、異なる屈折率プロファイルおよび長さを有する。2つのレンズ素子43A、43Bの長さおよび屈折率プロファイルは、ファイバ36、38をより良好に光学的に結合されるように選択される。いくつかの実施形態において、第1のGRIN素子43Aは、ファイバ36によって放出される光ビームを拡張し、第2の素子43Bは、ファイバ38内の伝搬モードのサイズに対するビーム・ウェストを集束する。

【0042】図7Aは、1×2マイクロ光ルータ46を示す。ルータ46は、入力光ファイバ48と、出力光ファイバ50、52と、出力ファイバ50、52の選択された1つに入力ファイバ48からの光を向けるための可動反射器54とを含む。光ファイバ48、50、52の終端は、GRINファイバ・レンズ49、49'、49"、例えば同一のGRINファイバ・レンズに溶着される。GRINファイバ・レンズ49は、ファイバ48からの放出された光ビームをコリメートする、または集束する機能を行う。GRINファイバ・レンズ49'、49"は、光を収集する、および結合された光ファイバ50、52に収集された光を結合する機能を行う。出力光ファイバ50、52は、入力光ファイバ48によって放出されたビームのウェストが、入力光ファイバ48と出力光ファイバ50、52との間の光経路の中間であるように配置される。反射器54の反射表面は、出力光ファイバ50に光を反射するように配置されたとき、ほぼレイリー範囲内のビーム・ウェストに配置される。

【0043】ルーティングを選択するために、反射器54は、光ファイバ48によって放出された光ビームの経路に、または経路を外れて動かされる。反射器54は、マイクロ電子機械 (MEM, micro-electromechanical) 装置56に印加された電気信号に応答して、反射器54をビームの光経路に、または光経路を外して動かすMEM装置56に固定される。

【0044】GRINファイバ・レンズ49、49'、49"は、終端58、60、62が、ルーティング領域64の反射器54の挿入および除去を可能にするために十分に長い距離だけ分離されることができるよう、ビーム・コリメーションおよび収集を改善する。図2、3A~3B、4Aの新規なGRINファイバ・レンズ18に基づくルータ46の実施形態において、より良好なビーム・コリメーションは、終端58、60、62間の距離が約9mmと同じ大きさになることを可能にする。これらの大きなファイバ間距離に関して、GRINファイバ・レンズ49、49'、49"は、約0.5デシベル (dB) より小さく、および好ましくは約0.2dB~0.05dBより小さく、光結合損失を低減する。しかしながら、より大きいファイバ間空間は、より重大なファイバ・デバイス位置合わせ問題を伴う。

【0045】いくつかの実施形態において、マイクロ・

ルータ46は、GRINファイバ・レンズ49、49'、49"が、湾曲した屈折表面を有する従来のレンズで置き換えられた、類似のルータの全体サイズよりかなり小さい全体サイズSを有する。湾曲した屈折表面を有するレンズは、GRINファイバ・レンズ49、49'、49"より大きな径を有する。より大きなレンズ径は、マイクロ・ルータ46よりそのようなルータにおけるより大きな分離で、入力および出力ファイバの端部を配置する必要がある。湾曲した屈折表面を有するレンズは同様に、一般に、マイクロ・ルータ46の溶着されたGRINファイバ・レンズ49より大きな径のルーティング領域におけるコリメートされたビームを作り出す。より大きなビーム径は、マイクロ・ルータ46の反射器56に必要なより大きな、レンズが湾曲した屈折表面を有するルータのルーティング反射器の反射表面を必要とする。

【0046】マイクロ・ルータ46のある実施形態において、GRINレンズ49、49'、49"間分離の特性距離Sは、レイリー範囲の約1~3倍に対してファイバ径の約1~3倍の範囲の値、例えば約1mmより小さい値を有する。これらの実施形態において、取り付けられたGRINファイバ・レンズ49、49'、49"の径が小さいため、レンズ49、49'、49"間の領域64の小さいサイズが一部分は達成され、反射器54の反射表面が、小さなビーム・アクセプタンス・ウインドウ (beam acceptance window) を有するため一部分は達成される。入力ビームを反射するアクセプタンス・ウインドウは、GRINファイバ・レンズ49が、ファイバ48の径より小さいビーム・ウェストを作り出すので、ファイバ径より小さいことができる。小さな径のGRINファイバ・レンズ49、49'、49"および反射器54の微小性の両方が、ルータ46を湾曲した屈折表面を有するレンズを使用するルータよりかなり小さくなることを可能にする。

【0047】図7Bは、図7Aに示されるルータ46の代わりの実施形態46'を示す。ルータ46'において、ファイバ48、50、52は隣接し、かつリニア・アレイ68に配置される。単一の回転可能な反射器56'、例えばMEMS制御された反射器は、ファイバ48からの光を、ファイバ50またはファイバ52のどちらかに選択的にルーティングする。いくつかの実施形態において、ファイバ50および52の軸は、反射器56'からの光がファイバ50、52の軸と平行になることを確実にするために、ファイバ48の軸に対してわずかに傾斜される。

【0048】ファイバ48、50、52をアレイ68に構成することは、ルータ46'の幅をアレイ68の幅Wにほぼ等しくする。GRINファイバ・レンズ49、49'、49"の小さな径および優れたコリメーションは、ファイバ48、50、52を密接してアレイ68に

詰め込むことを可能にする。したがって、ルータ 46 の実施形態は、湾曲した屈折表面を有するレンズが GRIN ファイバ・レンズ 49、49'、49'' を置き換える同様の形態のルータの幅よりかなり小さい幅 W を有することができる。

【0049】図 7C は、光の偏光、光波長、または相対的ファイバ位置に基づく 3 本の光ファイバ 48、50、52 を結合する光学デバイス 46'' の実施形態を示す。光ファイバ 48、50、52 は、取り付けられ、光をコリメートしかつ収集する GRIN ファイバ・レンズ 49、49'、49'' を有する。装置 46'' は、光ファイバ 48、50、52 間に光を、例えば偏光または波長に応じた方法で伝送する光素子 54' を含む。様々な実施形態において、光学デバイス 54' は、偏光ビームスプリッタ、格子、光サーキュレータ、またはブラッグ (Bragg) 格子などの波長選択反射器を含む。

【0050】図 8 は、入力光ファイバ 72、N 本の出力光ファイバ 74₁ ~ 74_N の出力アレイ 73、および反射器 76 を含む 1×N マイクロ光ルータ 70 を示す。光ファイバ 72、74₁ ~ 74_N は、端末 GRIN ファイバ・レンズ 77₀ ~ 77_N が溶着されたシングル・モード・ファイバである。入力光ファイバ 72 からの光ビーム 78 は、ビーム 78 のウェスト、すなわちレイリー範囲の 1/2 内近くで反射器 76 と交差する。

【0051】例示的な反射器 76 は、動きまたは回転するミラー、または波長依存の方法で光を反射する回折格子を含む。例えば、ルータは、波長分割多重化ネットワークのためのスペクトル感受性のデマルチプレクサであることもできる。

【0052】GRIN ファイバ・レンズ 77₀ ~ 77_N は、入力光ファイバ 72 の光ビーム 78 を拡大しかつコリメートし、光ビーム 78 を出力光ファイバ 74₁ ~ 74_N に集束する。GRIN ファイバ・レンズ 77₀ ~ 77_N のため、光ファイバ 74₁ ~ 74_N の出力アレイ 73 および入力光ファイバ 72 は、著しい結合損失なしにバルク反射器 76 を経路に挿入することを可能にするために十分な長さである光経路によって分離することが可能である。ルータ 70 のために、結合損失は、一般に約 0.5 dB ~ 0.2 dB より小さく、好ましくは約 0.1 dB より小さい。

【0053】マイクロ光ルータ 70 において、GRIN ファイバ・レンズ 77₀ は、ファイバ 72 からのビームを、反射器 76 の反射アクセプタンス・ウインドウに集束する。方向 D に対して垂直方向のアクセプタンス・ウインドウの径は、ファイバ径より小さい。同様に、GRIN ファイバ・レンズ 77₀ ~ 77_N の使用は、ファイバ 74₁ ~ 74_N の異なるファイバに向けて反射される光ビーム間の干渉なしに、アレイ 73 における増大されたファイバ・パッキング密度を可能にする。最終的に、GRIN ファイバ・レンズ 77₀ の使用は、反射器 76

のアクセプタンス・ウインドウおよび全体サイズを、そうでなければ、湾曲された屈折表面を有するレンズ (図示せず) を用いるルータにおいて必要とする反射器のアクセプタンス・ウインドウおよび全体サイズより小さいことを可能にする。したがって、GRIN ファイバ・レンズ 77₀ ~ 77_N の使用は、マイクロ・ルータ 70 において、湾曲された屈折表面を有するレンズに基づくファイバ・ルータより大幅な小型化を可能にする。

【0054】他の実施形態は、図 2 の GRIN ファイバ・レンズ 18 を用い、上述した開示から当業者には明らかな方法によって、N×1 ルータ (図示せず) を構成する。例えば、2×1 ルータは、図 7A の 1×2 マイクロ・ルータ 46 におけるファイバ 48、50、52 に関する、入力および出力の指定を換えることによって構成することができる。

【0055】図 9 は、N×M 光ルータ 80 の上面図である。ルータ 90 は、N 本の入力光ファイバ 82₁ ~ 82_N のアレイ 81、および M 本の出力光ファイバ 84₁ ~ 84_M のアレイ 83 を含む。ファイバ 82₁ ~ 82_N、84₁ ~ 84_M は、それらの終端部に溶着された GRIN ファイバ・レンズ 85₁ ~ 85_N、86₁ ~ 86_M を有する。GRIN ファイバ・レンズ 85₁ ~ 85_N、86₁ ~ 86_M は、図 7A の GRIN ファイバ・レンズ 49、49'、49'' に関して前述された GRIN ファイバ・レンズに類似するビーム・コリメーションおよび収集を提供する。入力ファイバ 82₁ ~ 82_N と出力ファイバ 84₁ ~ 84_M との間は、固定されたおよびルーティング反射器 88_{F1} ~ 88_{FN}、89_{R1} ~ 89_{RN} のバンク 87_F、87_R である。例示的な反射器 89_{R1} ~ 89_{RN} は、波長選択反射器、例えば格子、および波長非感受性反射器を含む。適切な位置合わせ反射器 88_{R1} ~ 88_{RN} は、入力ファイバ 82₁ ~ 82_N の個別のファイバからの光を、出力ファイバ 84₁ ~ 84_M の選択されたファイバにルーティングする。反射器 88_{R1} ~ 88_{RN} は、MEM の装置 89₁ ~ 89_N によって動作され、その径が、アレイ 81 のファイバ間の間隔 IFS より小さい入力ビームのためのアクセプタンス・ウインドウを有する。

【0056】取り付けられた GRIN ファイバ・レンズ 85₁ ~ 85_N、86₁ ~ 86_M を用いることによって、アレイ 81、83 におけるファイバ・パッキング密度は、湾曲された屈折表面を有するレンズ (図示せず) が、図 9 の GRIN ファイバ・レンズ 85₁ ~ 85_N、86₁ ~ 86_M を置き換える N×M ファイバ・ルータのファイバ・パッキング密度より増大することができる。同様に、ルータ 80 における反射器 88_{F1} ~ 88_{FN}、89_{R1} ~ 89_{RN} の反射表面サイズは、湾曲された屈折表面を有するレンズに基づくルータにおける反射器の反射表面のサイズより小さい。なぜなら、GRIN ファイバ・レンズ 85₁ ~ 85_N によって作られた

ビーム径が、小さいからである。両方の作用が、新規な $N \times M$ が、湾曲された屈折表面を有するレンズに基づく $N \times M$ ルータより小さいことを可能にする。

【0057】図10は、光ファイバ92、94の端部91、93の間にインラインに配置されるマイクロ光学デバイス90を示す。例示的なマイクロ光学デバイス90は、波長感受性アド/ドロップ・モジュール、偏光子、偏光ロータ、一方向光アイソレータ、および制御可能な光減衰器を含む。光ファイバ92、94の端部91、93は、GRINファイバ・レンズ96、98に溶着される。GRINファイバ・レンズ96は、光ファイバ92によって放出された光をコリメートする。GRINファイバ・レンズ98は、受信された光を光ファイバ94に集束する。マイクロ光学デバイス90は、GRINファイバ・レンズ96、98に関連するレイリー範囲より大きくない、適切な厚み d を有する。そのような厚みのために、GRINファイバ・レンズ96、98は、解析に関連する結合損失を低減する。

【0058】本発明の他の実施形態は、本願の明細書、図面、および請求項から当業者には明らかであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】2つの光ファイバを端部結合するために従来のGRINファイバ・レンズを用いる、ファイバ・デバイスの断面図である。

【図2】光ファイバがGRINファイバ・レンズの一実施形態に対して溶着された、ファイバ・デバイスの断面*

*図である。

【図3A】従来のGRINファイバ・レンズおよび新規なGRINファイバ・レンズにおいて、ゲルマニウム・ドーパント濃度の径方向プロファイルを示す。

【図3B】図3AのGRINファイバ・レンズに関する屈折率の径方向プロファイルを示す。

【図4A】新規なGRINファイバ・レンズを有するファイバ・デバイスにおけるビーム・コリメーションを示す。

【図4B】従来のGRINファイバ・レンズを有するファイバ・デバイスにおけるビーム・コリメーションを示す。

【図5】図2のファイバ・デバイスを製造する方法に関するフローチャートである。

【図6A】モード・コンバータの断面図である。

【図6B】複合GRINファイバ・レンズを使用するモード・コンバータの断面図である。

【図7A】 1×2 マイクロ光学ルータの上面図である。

【図7B】 1×2 マイクロ光学ルータに関する他の形態の上面図である。

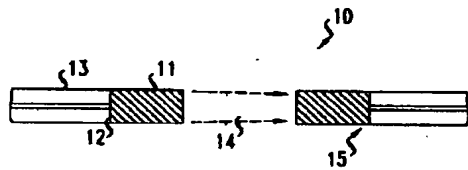
【図7C】3つの光ファイバに光学的に結合する装置の上面図である。

【図8】 $1 \times N$ マイクロ光学ルータの断面図である。

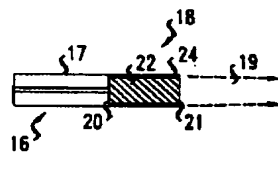
【図9】 $N \times M$ マイクロ光学ルータの上面図である。

【図10】インライン光学デバイスを有する光ファイバの断面図である。

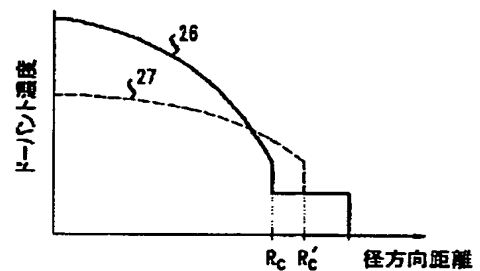
【図1】



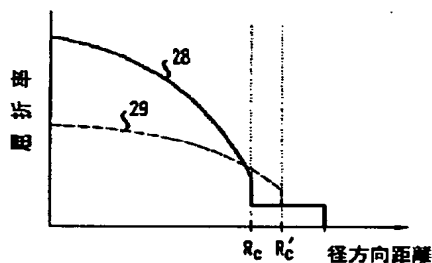
【図2】



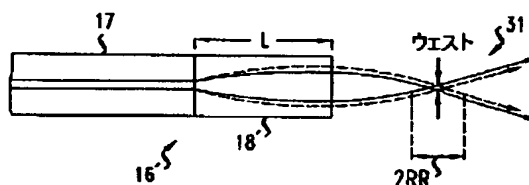
【図3A】



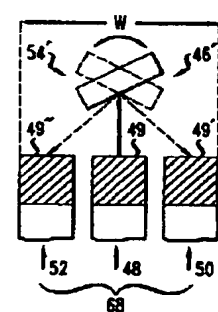
【図3B】



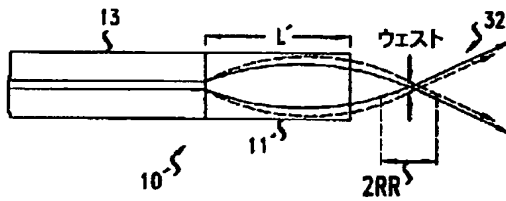
【図4A】



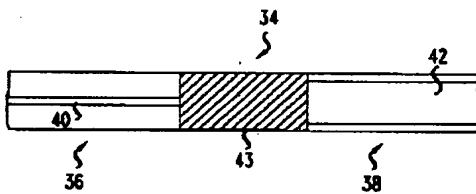
【図7B】



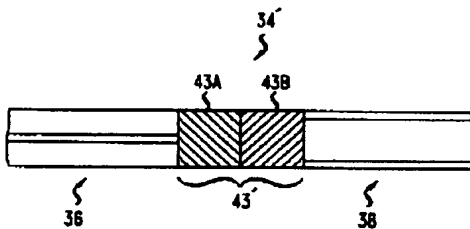
【図 4 B】



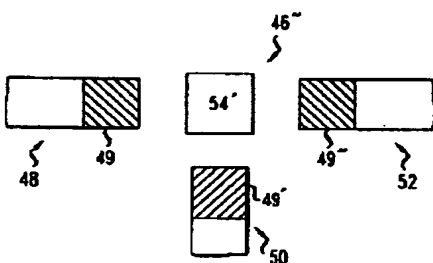
【図 6 A】



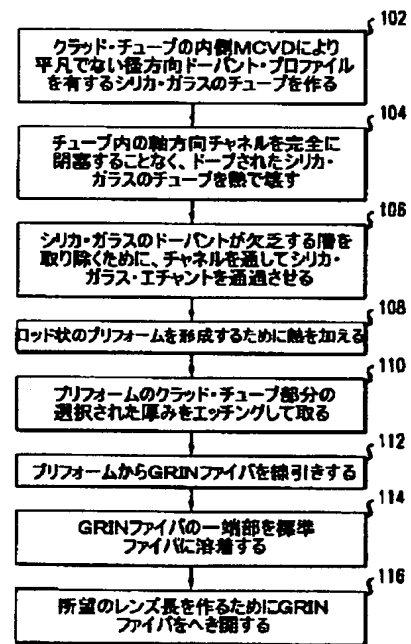
【図 6 B】



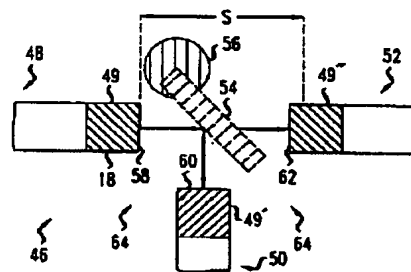
【図 7 C】



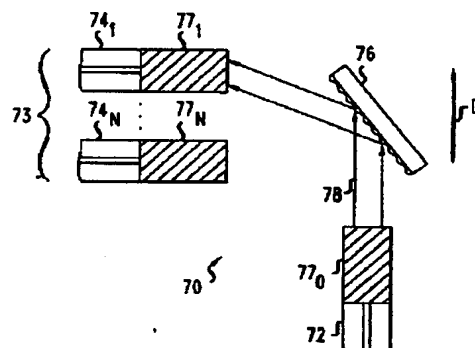
【図 5】



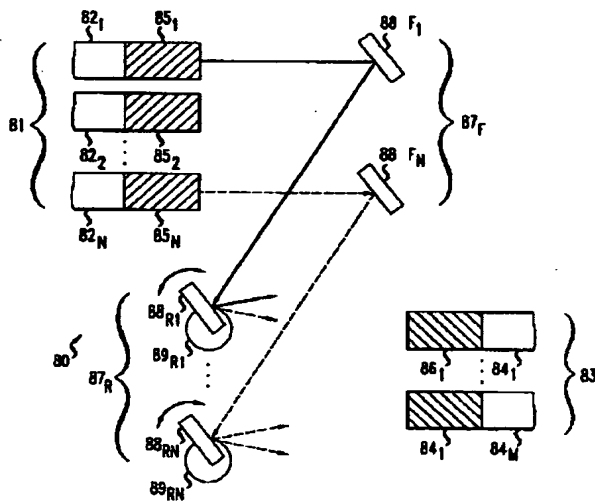
【図 7 A】



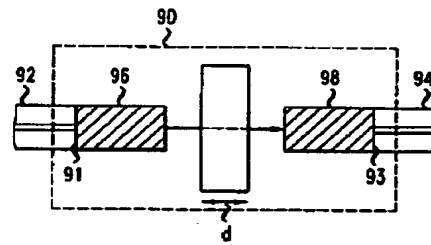
【図 8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 マーク ジェー. シュナイザー
 アメリカ合衆国 07030 ニュージャージー
 イ, ホボークン, パーク アヴェニュー
 77 ナンバー802

Fターム(参考) 2H037 AA01 BA32 CA16 DA16
 2H041 AA14 AA15 AA16 AB10 AB13
 AB14 AC06 AZ02 AZ05 AZ08
 2H050 AC07 AC73 AC90